

TK 155.571

KFKI-1983-122

VALKÓ J.
GLOWACZ M.

KUTATÁSI JELENTÉS

OKKFT A/11-5.4.1

A ZAJ-ANALIZÁLÓ RENDSZER TOVÁBBFEJLESZTÉSE:
A FIGURA PROGRAMRENDSZER

Hungarian Academy of Sciences

CENTRAL
RESEARCH
INSTITUTE FOR
PHYSICS

BUDAPEST

2017

KUTATÁSI JELENTÉS

OKKFT A/11-5.4.1

A ZAJ-ANALIZÁLÓ RENDSZER TOVÁBBFEJLESZTÉSE
A FIGURA PROGRAMRENDSZER

MTA

Központi Fizikai Kutató Intézete
Atomenergia Kutató Intézet

*Készítette: Valkó János
Glowacz Miklós*

1. Spektrális /Fourier/ analízis alapvető formuláinak összefoglalása.

1.1 Periodikus függvények

Ha $f_p(t)$ periodikus függvény, $f_p(t+T)=f_p(t)$, ahol T a periódusidő, $f_p(t)$ előállítható a következő alakokban:

$$f_p(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos k\omega_0 t + b_k \sin k\omega_0 t)$$

$$f_p(t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cos(k\omega_0 t + \alpha_k)$$

/1/

$$f_p(t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} B_k \sin(k\omega_0 t + \beta_k)$$

$$f_p(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} C_k e^{jk\omega_0 t}$$

ahol $\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$

Az /1/ szerinti előállítás az $f_p(t)$ függvény Fourier sora, az együtthatókat az alábbi összefüggések határozzák meg:

$$a_k = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f_p(t) \cos k\omega_0 t \, dt = \frac{\omega_0}{\pi} \int_{-\pi/\omega_0}^{\pi/\omega_0} f_p(t) \cos k\omega_0 t \, dt \quad /2/$$

$$b_k = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f_p(t) \sin k\omega_0 t \, dt = \frac{\omega_0}{\pi} \int_{-\pi/\omega_0}^{\pi/\omega_0} f_p(t) \sin k\omega_0 t \, dt \quad /3/$$

$$C_k = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f_p(t) e^{-jk\omega_0 t} \, dt = \frac{\omega_0}{2\pi} \int_{-\pi/\omega_0}^{\pi/\omega_0} f_p(t) e^{-jk\omega_0 t} \, dt \quad /4/$$

A különböző együtthatók között a következő összefüggések érvényesek:

$$\alpha_0 = 0$$

$$\beta_0 = 0$$

$$b_0 = 0$$

$$C_k = \frac{1}{2} (a_k - j b_k) \quad /5/$$

$$C_{-k} = \frac{1}{2} (a_k + j b_k) \quad /6/$$

$$R_k = \operatorname{Re}(C_k) = -\frac{1}{2} a_k \quad \text{valós rész} \quad /7/$$

$$I_k = \operatorname{Im}(C_k) = -\frac{1}{2} b_k \quad \text{képzetes rész} \quad /8/$$

$$\operatorname{Re}(C_0) = \frac{1}{2} a_0$$

$$\operatorname{Im}(C_0) = 0$$

$$|C_k|^2 = C_k C_{-k} = C_k C_k^* = (R_k + j I_k)(R_k - j I_k) = R_k^2 + I_k^2 \quad /9/$$

$$|C_k| = \sqrt{R_k^2 + I_k^2} = \frac{1}{2} \sqrt{a_k^2 + b_k^2} \quad /10/$$

Az egy periodus alatt kifejtett energia

$$E = \int_0^T f_p(t) dt \quad /11/$$

Az átlagos teljesítmény pedig

$$\bar{P} = \frac{1}{T} \int_0^T f_p(t) dt \quad /12/$$

Az integrálási tartomány a $/0, T/$ helyett tetszőleges T hosszúságú szakasz.

/1/ negyedik alakját felhasználva az energia illetve teljesítmény a Fourier komponensekkel is kifejezhető:

$$E = T \sum_{k=-\infty}^{\infty} C_k C_{-k} = T \sum_{k=-\infty}^{\infty} |C_k|^2 \quad /13/$$

$$\bar{P} = \sum_{k=-\infty}^{\infty} |C_k|^2 \quad /14/$$

A k -ik harmonikushoz rendelhető teljesítmény pedig

$$\bar{P}_k = \bar{P}(\omega_k) = 2 C_k C_{-k} \quad /15/$$

ahol $\omega_k = k\omega_0$.

/15/ az f_p/t függvény teljesítményspektruma. Periodikus függvény spektruma u.n. vonalas spektrum.

Két periodikus függvény f_{1p} és f_{2p} esetében, ha a két periodusidő $T_1 = T_2 = T$, a következő összefüggés a két függvény korrelációs függvényét definiálja:

$$R_{12}(\tau) = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f_{1p}(t) f_{2p}(t+\tau) dt \quad /16/$$

f_{1p}/t és f_{2p}/t /1/ szerinti spektrális felbontásával ez így írható

$$R_{12}(\tau) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} C_{1k} C_{2k}^* e^{jk\omega_0 \tau} \quad /17a/$$

illetőleg

$$C_{1k} C_{2k}^* = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} R_{12}(\tau) e^{-jk\omega_0 \tau} d\tau \quad /17b/$$

/17a,b/ az u.n. Wiener-Hinchine tétel: a korrelációs függvény és a teljesítmény spektrum Fourier transzformált párt alkotnak. /17b/ az f_1 és f_2 függvények keresztteljesítmény spektruma. f_{2p}/t helyére f_{1p}/t -t helyettesítve az egyetlen

függvényre vonatkozó összefüggéseket kapjuk.

1.2 Tranziens vagy aperiodikus függvények

Ha $f(t)$ függvény tranziens vagy aperiodikus folyamat,

esetben létezik az $\int_{-\infty}^{\infty} |f_p(t)| dt < \infty$

$$F(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt \quad /18/$$

Fourier transzformált. A függvény visszaállítása pedig

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(j\omega) e^{j\omega t} d\omega \quad /19/$$

útján történik.

$F(j\omega)$ gyakran használt alakjai még

$$F(j\omega) = |F(j\omega)| e^{j\theta(\omega)} = R(\omega) + jI(\omega) = A(\omega) e^{j\theta(\omega)} \quad /20/$$

ahol

$$A(\omega) = \sqrt{R(\omega)^2 + I(\omega)^2} \quad /21/$$

$$\theta(\omega) = \tan^{-1} \frac{I(\omega)}{R(\omega)} \quad /22/$$

A jelben lévő összes energia az $E = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)^2 dt$ definíció szerint

$$E = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |F(j\omega)|^2 d\omega \quad /23/$$

alakban is megadható, amiből logikusan következik az

$$E(\omega) = |F(j\omega)|^2 \quad /24/$$

kifejezi energia-spektrumként való értelmezése.

E/ω helyett az $E/j\omega$ jelölés is használatos.

A korrelációs függvények ilyen esetben is definiálhatók /most autokorrelációs függvényre írjuk fel/:

$$\rho(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) f(t+\tau) dt \quad /25/$$

$\rho(\tau)$ és $E(j\omega)$ /17a,b/-hez hasonlóan Fourier transzformált párt alkotnak:

$$\rho(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} E(j\omega) e^{j\omega\tau} d\omega \quad /26/$$

$$E(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \rho(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau \quad /27/$$

1.3 Stochasztikus folyamatok

Legyen most az f/t függvény valamely stochasztikus folyamat adott realizációja. A folyamatról feltesszük, hogy stacionárius és ergodikus.

f/t amplitudójának valószínűség eloszlás sűrűség függvényét, p/f , a következőképpen definiáljuk:

$$P\{a \leq f \leq b\} = \int_a^b p(f) df \quad /28/$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} p(f) df = 1 \quad /29/$$

Az f/t függvény időátlaga, ami a feltevés szerint egyuttal a stochasztikus folyamat várható értéke:

$$\bar{f} = \int_{-\infty}^{\infty} f p(f) df \quad /30/$$

A szórásnégyzet /variance/ pedig

$$\sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (f - \bar{f})^2 p(f) df \quad /31/$$

Az $f(t)$ függvényre nem teljesül az

$$\int_{-\infty}^{\infty} |f(t)| dt < \infty$$

korlátossági feltétel, ezért a tranziens vagy aperiodikus függvényekhez hasonló módon a Fourier transzformálása nem lehetséges. A korrelációs függvények ezzel szemben definiálhatók a következő határértékkel:

$$\varphi(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) f(t+\tau) dt \quad /32/$$

az $f(t)$ folyamat autokorrelációs függvénye. /Két stochasztikus folyamat esetén pedig a $\varphi_{12}(\tau)$ keresztkorrelációs függvény írható fel analóg módon./

A $P(j\omega)$ teljesítmény spektrumot a Wiener-Hinchine tételei szellemében a megfelelő korrelációs függvény Fourier transzformáltjával azonosítjuk:

$$P(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau \quad /33/$$

Valamely stochasztikus folyamat teljesítményspektrumának /33/ szerint /a megfelelő korrelációs függvényen keresztül/ történő meghatározását a teljesítmény spektrum indirekt előállításának nevezik.

1.4 Mintavételezés, diszkrét Fourier transzformálás

Az előző pontban vizsgált $f(t)$ függvényt Δt mintavételezési idővel diszkrétizáljuk:

$$f_n = f(n\Delta t), \quad n = 0, 1, \dots, N-1$$

$T = N\Delta t$ teljes mérési idő alatt N számú diszkrét függvényértéket kapunk.

Tekintsük azt az $\tilde{f}/t/$ függvényt, amely a $[0, T]$ intervallumon belül $f/t/-$ vel azonos, kívül pedig zérussal egyenlő.
/18/ szerint képezhetjük \tilde{f} Fourier transzformáltját,

$$F(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{f}(t) e^{-j\omega t} dt \quad /34/$$

A mintavételezéssel kapott f_n mennyiségekből pedig képezhetjük az

$$\bar{F}(j\omega) = \sum_{n=0}^{N-1} f_n e^{-j\omega n \Delta t} \quad /35/$$

kifejezést.

$\bar{F}/j\omega/$ periodikus függvény:

$$\bar{F}(j\omega) = \bar{F}(j\omega + j \frac{2\pi}{\Delta t}) \quad /36/$$

ami /35/-be való helyettesítéssel adódik.

Az is belátható, hogy $\bar{F}/j\omega/$ csak N db független mennyiséget tartalmaz, jóllehet /35/ alapján ω folyamatosan változhat.

Ha $\omega_0 = \frac{2\pi}{N\Delta t}$ jelölést alkalmazunk, ω -át

$$\omega = m\omega_0, \quad m = 0, 1, \dots, N-1$$

pontokban, $\bar{F}/j\omega/-$ t $\bar{F}/jm\omega_0/ = \bar{F}_m$ értékeknél rögzíthetjük.

$\bar{F}/j\omega/ = \bar{F}^*/-j\omega/-$ -ből adódik továbbá, hogy

$$\bar{F}_m = \bar{F}_{-m}^*$$

$$\bar{F}_m = \bar{F}_{N-m}^*$$

vagyis valójában csak $N/2$ db független /komplex/ mennyiségünk van, ami pontosan N db /valós + képzetes/ mennyiségnek felel meg. / N db független mérési eredményből, az $f/t/$ függvény N db mintavételezett f_n értékeiből többet nem is várhatunk/.

Az f_n mintákhoz tehát az \bar{F}_m értékeket rendeljük az

$$\bar{F}_m = \sum_{n=0}^{N-1} f_n e^{j \frac{2\pi mn}{N}}, \quad m = 0, 1, \dots, N-1 \quad /37/$$

transzformációval. Ezt a transzformációt diszkrét Fourier transzformációnak /DFT/ nevezzük.

Az inverz /diszkrét/ transzformáció

$$f_n = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} F_m e^{j \frac{2\pi mn}{N}}, \quad n=0, 1, \dots, N-1 \quad /38/$$

alakú, aminek helyességéről /37/-be való behelyettesítéssel lehet meggyőződni. Ez a behelyettesítés egyuttal azt is igazolja, hogy az N db F_m mennyiség maradéktalanul visszaadja az f_n -ben lévő eredeti információt.

A DFT használhatóságának lényege mindazonáltal nem az, hogy a /34/-ben szereplő integrált a /35/-beli véges összeggel közelítjük és így $F/j\omega/-t$ $\bar{F}/j\omega/-val$ helyettesítjük.

Ha az f_n / $n=0, 1, \dots, N-1$ / véges mintasorozatból az

$$\bar{f}(t) = \sum_{n=0}^{N-1} f_n \delta(t - n\Delta t) \quad /39/$$

függvényt képezzük, $\bar{f}(t)/-t$ Fourier transzformálhatjuk és pontosan a /35/ jobboldalán szereplő kifejezést kapjuk, vagyis $\bar{F}/j\omega/-t$.

/39/ helyett

$$\bar{f}(t) = \tilde{f}(t) \sum_{n=0}^{N-1} \delta(t - n\Delta t) \quad /40/$$

is írható. Ha most a δ függvények véges összegét, amely t -nek $N\Delta t$ -re periodikus függvénye Fourier sor alakjában állítjuk elő, és ezt /40/-be beírjuk, majd $\bar{f}(t)/-t$ ebben az alakjában is Fourier transzformáljuk, akkor $\bar{f}(t)/$ Fourier transzformáltjára, amiről előbb beláttuk, hogy $\bar{F}/j\omega/-val$

egyenlő, most a következőt kapjuk /itt nem részletezett számítás eredményeként/:

$$\bar{F}(j\omega) = \frac{1}{\Delta t} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{f}(t) e^{j\frac{2\pi n t}{\Delta t}} e^{-j\omega t} dt \quad /41/$$

Ezt /34/-gyel összevetve látjuk, hogy

$$\bar{F}(j\omega) = \frac{1}{\Delta t} \sum_{n=-\infty}^{\infty} F(j\omega - j\frac{2\pi n}{\Delta t}). \quad /42/$$

/42/ egzakt összefüggést teremt az $\tilde{f}(t)$ folytonos függvény Fourier transzformáltja, $F(j\omega)$ és az f_n mintasorozatból DFT-vel nyerhető $\bar{F}(j\omega)$ között. Az $\omega_F = \frac{\pi}{\Delta t}$ jelölést bevezetve az is látható ugyanakkor, hogy /42/ jobboldala a végtelen összeg miatt $2\omega_F$ távolsággal eltolva végtelenszer szuperponálja az eredeti $F(j\omega)$ függvényt. Ha $F(j\omega)$ olyan, hogy $|\omega| > \omega_F$ esetén eltűnik, akkor /42/ szerint

$$\bar{F}(j\omega) = \frac{1}{\Delta t} F(j\omega), \quad |\omega| < \omega_F. \quad /43/$$

A DFT-t a /43/ összefüggés alapján lehet használni folytonos függvények mintavételezéssel történő Fourier analizálására. /43/-ból és az eddigi levezetésből további két dolog olvasható le:

- 1./ Δt idővel $|\omega| = \frac{2\pi}{\Delta t}$ frekvenciával/ történő mintavételezés előtt gondoskodni kell /megfelelő szűréssel/ arról, hogy az eredeti, folytonos jel $\omega = \frac{\pi}{\Delta t}$ -nél nagyobb frekvenciákat ne tartalmazzon. /Vagy Δt -t kell alkalmasan megválasztani./
- 2./ Ha viszont 1./ teljesül, $\bar{F}(j\omega)$ nemcsak az f_n mintasorozatot, hanem az eredeti $\tilde{f}(t)$ folytonos függvényt is egyértelműen meghatározza minden $0 < t < N\Delta t$ -re.

A fenti kijelentések az u.n. mintavételezési tétel állításainak egy megfogalmazása.

$\bar{F}/j\omega$ -át az $|\omega| < \omega_f$ tartományban kapjuk, mégpedig N frekvencián /csak pozitív ω -t tekintve ez $N/2$ u.n. frekvenciasávot jelent/. A frekvenciasávok mérete, más szóval az analízis felbontása

$$\Delta\omega = \frac{2\pi}{N\Delta t} \quad /44/$$

Minthogy a véges ideig tartó mérés korlátja miatt bevezetett \tilde{f}/t függvény a $(0, N\Delta t)$ tartományban azonos az eredetileg vizsgálni kívánt f/t függvénnyel, a DFT algoritmussal kapott $\bar{F}/j\omega$ az f/t függvényt ebben a tartományban maradéktalanul előállító transzformáltként kezelhető. A mérési tartomány hosszúságától $/N\Delta t/$ az analízis felbontása függ, vagyis az észlelhető legkisebb frekvenciájú összetevő, illetőleg a megkülönböztethető frekvenciák távolsága. A felbontás csak a mérési idő növelésével javítható, hiszen a /44/-ben adott határnál lassabb összetevők periodusideje a mérési időnél nagyobb így ezek az adott mérésben nem fedezhetők fel.

$\bar{F}/j\omega$ -t a /35/ definíció közvetlen alkalmazása helyett speciális algoritmusok is szolgáltatják, amelyek számítógépes realizálásra alkalmasabbak. Ilyen algoritmus az u.n. FFT /Fast Fourier Transzform./. A FIGURA programrendszer is FFT algoritmust használ, ennek ismertetésére azonban nem térünk ki.

Az f/t stochasztikus jel T hosszúságu szakaszához tartozó energia-spektrum E_T/ω így írható:

$$E_T(\omega) = |F_T(j\omega)|^2 \quad /45/$$

ahol $F/j\omega/$ -ban is a T index a vizsgált jel tartamát mutatja. Az átlagos teljesítményspektrum

$$P_T(\omega) = \frac{1}{T} |F_T(\omega)|^2 \quad /46/$$

Világos, hogy $P(\omega)$ hosszabb ideig tartó mérésből pontosabban becsülhető. Ugyanakkor $T=N\Delta t$ szerint ha T -t nagyobb N választásával növeljük, akkor /44/ szerint a felbontott frekvenciasávok mérete csökken, de egy adott frekvenciasávhoz tartozó teljesítmény becslés pontossága nem javul. /Hasonló a helyzet, ha Δt -t növeljük./ Ezzel a módszerrel csak a stochasztikus folyamat adott realizációjának növekvő részletességű analízise végezhető, ami általában nem cél.

A stochasztikus jelek vizsgálatának célja rendszerint a stochasztikus folyamatot jellemző spektrális tulajdonságok meghatározása amihez, a folyamat ergodicitását felhasználva, a jelnek a választott $N\Delta t$ -hez képest kellően hosszú ideig tartó szakaszán végzett ismételt transzformáció és átlagolás útján juthatunk. Ezért K db, egyenként T hosszúságu rekordot /blokkot/ vágunk ki az $f/t/$ jelből, az ezekből, mintavételezéssel kapott DFT-eket $F_k/j\omega/$ -val jelölve $/k=1, \dots, K/$, $P(\omega)$ -t a következőképpen becsüljük:

$$F_k(j\omega) = \Delta t \cdot \bar{F}_k(j\omega)$$

$$T = N\Delta t$$

$$P(\omega) \approx \frac{\Delta t}{N} \cdot \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K |F_k(j\omega)|^2 \quad /47/$$

A spektrum meghatározás pontosságát az átlagolások száma, K szabja meg, közelítően a következő módon /Blackman and Tukey, 1958., S.D. Stearns, 1975./:

$$R_x \approx \frac{a(x)}{\sqrt{2K}}$$

ahol x a statikus becslés kívánt konfidenciaszintje,

R_x a becslés/ x % konfidenciával/ várható távolsága a helyes értéktől, dB-ben.

x	80	90	96	98
$a/x/$	11	14	18	21

Ahhoz, hogy a spektrális becslések 90 %-a a valódi érték körüli 3 dB intervallumba essenek /teljesítményben kettes faktor/ 10-11 átlagolás elegendő. Ahhoz, hogy 96 %-os valószínűséggel kapjunk olyan spektrális becslést, amelynek eltérése nem több min 1 dB / teljesítményben 10% / kb. 160 átlagolásra van szükség. Egy tipikus spektrum 2,20 ill. 80 átlagolás után kapott becslését szemléltetik az 1,2 és 3. ábrák. /A 4., 5 és 6. ábrákon a hozzájuk tartozó amplitudó valószínűség eloszlás görbéje látható./ Ezek az ábrák azért tanulságosak, mert jól megfigyelhető, hogy a spektrum alapvető formája, a legnagyobb, széles csucok jelenléte már 2 átlagolás után is kivehető; ugyanakkor a kis csucok, a spektrum finom szerkezete aminek egy része 20 átlagolás után is - a 80 átlagolású spektrummal összevetve - csak statisztikus ingadozásnak tulajdonítható. Az ábrákon megadtuk a 96 %-os konfidenciához tartozó szóródási intervallumokat is.

Ha két időfüggvényt, $x(t)$ és $y(t)$ -t együttesen mintavételezünk, a DFT analízisből /43/ felhasználásával megkapjuk a jelek $F_x(j\omega)$ transzformáltját: $F_x(j\omega)$, $F_y(j\omega)$. /46/-hoz hasonlóan felírhatjuk a két jel kereszt teljesítmény spektrumát, $P_{xy}(\omega)$ -t

$$P_{xy}(\omega) = \frac{1}{T} F_x(j\omega) \cdot F_y^*(j\omega) \quad /48/$$

Itt a T mérési időre utaló indexet elhagytuk, mert végülis a /47/ szerinti átlagolást fogjuk majd elvégezni. P_{xy}/ω komplex mennyiség, amplitudóval és fázissal fogjuk jellemezni. Két jel együttes viselkedésének további jellemzésére használjuk még a koherenciafüggvényt:

$$\gamma^2(\omega) = \frac{|P_{xy}(\omega)|^2}{|P_x(\omega)| |P_y(\omega)|} \quad /49/$$

/35/-ben, ahol a DFT-t definiáltuk, az ω változását folytonosnak tekintettük. Ha f_n helyébe az $f/t = e^{j\omega t}$ harmonikus függvény mintavételezett értékeit, $f_n = e^{j\omega_0 n \Delta t}$ helyettesítjük, $|\bar{F}/j\omega|$ -ra a következőt kapjuk:

$$|\bar{F}(j\omega)| = \left| \frac{\sin \frac{N}{2} (\omega_1 - \omega) \Delta t}{\sin (\omega_1 - \omega) \Delta t} \right| \quad /50/$$

Ennek a függvénynek $\omega = \omega_1$ -ra maximumra van, ez az f/t sinusfüggvény spektrum vonala. /Az amplitudó magyarázatával nem foglalkozunk/.

$$\omega_1 - \omega = m \frac{2\pi}{N\Delta t}, \quad m = 1, 2, \dots \quad \text{esetén}$$

$\bar{F}/j\omega = 0$. Mindenütt másutt $\bar{F}/j\omega \neq 0$, ami azt jelenti, hogy $\bar{F}/j\omega$ hibásan fogja adni az f/t sinus függvény spektrumát, olyan frekvenciákon is ad járulékot, ahol a valódi, monokromatikus sinus jel spektruma zérus. Ha t -t úgy választjuk meg, hogy az $N\Delta t$ mérési idő megegyezik a sinus jel periodusidejével vagy annak egészszámu többszörösével, akkor a /37/ szerinti \bar{F}_m diszkret DFT értékek közül egyetlenegy lesz nem zérus, amelyekre

$$m\omega_0 = \omega, \quad \text{a többi eltűnik.}$$

Ha periodikus függvényt analizálunk, akkor a mintavételezési időt a periodusidőhöz igazítva kell megválasztani.

A DFT megjelenése idegen frekvenciákon az f/t jel megfigyelésének véges ideje/periodikus függvény esetén, nem a periodus idő végén történő abbahagyása/ miatt történik. Ha a vizsgált jel stochasztikus, ez a probléma mindig fennáll.

Folytonos időjel véges ideig tartó megfigyelését úgy is fel-foghatjuk, hogy az eredeti f/t jelből egy Q/t "ablakkal" kivágjuk azt a darabot, amelyet aztán analizálunk:

$$f'(t) = Q(t) \cdot f(t) \quad /51/$$

$$Q(t) = \begin{cases} 0 & , \quad t < 0 \\ 1 & , \quad 0 \leq t \leq N\Delta t \\ 0 & , \quad t > N\Delta t \end{cases} \quad /52/$$

A Q/t függvény /négyyszög ablak/ éles sarkai által reprezentált nagyfrekvenciás összetevők csökkentésére Q/t helyett olyan ablakfüggvény használata javasolt, amely a két végén simán tart zérushoz.

Ilyen függvény például az u.n. hanning ablak:

$$Q_1(t) = \frac{1}{2} \left(1 - \cos \frac{2\pi t}{N\Delta t} \right), \quad 0 \leq t \leq N\Delta t \quad /53/$$

A hanning ablak hatása a frekvenciatartományban az F_m spektrumvonal súlyozott átlagolásának felel meg. Emiatt a csúcok a spektrumban szélesebbek lesznek, de a csúcstól távolodva jóval kisebb amplitudóval jelentkeznek a hamis mellék maximumok.

2. A FIGURA programrendszer leírása

A programrendszer több csatornán egyidejűleg érkező /on-line vagy mágnesszalagon rögzített/ analóg stochasztikus jelek FOURIER analízisen alapuló feldolgozására szolgál. Az f_1/t , $f_2/t/\dots$ jelekből az 1. fejezetben leírt módon a P_{11}/ω , P_{22}/ω auto- teljesítményspektrumok, amplitudóvalószínűség eloszlás függvények számítása; valamint tetszőlegesen kiválasztott jel-pár esetében a $|P_{12}/\omega|$ kereszt-teljesítmény spektrum amplitudó, θ_{12}/ω fázis és γ_{12}^2/ω koherencia függvény számítása történik. A megfelelő teljesítményspektrumok transzformálása útján lehetőség van a korrelációs függvények meghatározására is.

A Fourier analízis digitálisan történik, FFT algoritmus felhasználásával. A programrendszer a következő programokból áll:

- DIGI - az analóg időjelek digitalizálását végzi.
- GG - a mérési körülmények, paraméterek /kiegészítő információ/ megadását, a felvett jelek ellenőrzését végzi.
- FF - jelfeldolgozó program, eloszlás függvényeket, spektrumokat számít.
- RRR - az eredmények kirajzolását végzi.

A programrendszer keretében az adatok tárolása egységes file-kezeléssel valósul meg. Az adatfeldolgozáshoz a következő file-okat használjuk:

- 'F' - file: A digitalizált jeleket tartalmazza,
létrehozza: DIGI
használja: GG, FF

'G' - file: A kiegészítő információt tartalmazza,
létrehozza: GG
használja: FF

'R' - file: A számított spektrumokat, stb. tartalmazza,
létrehozza: FF
használja: RRR

A mérések /felvételek/ azonosítása az NS /1-3 jegyű INTEGER/
számmal történik.

File nevek:

Az F és G file-ok neve az F illetve G betüből és az NS azonosító
számból tevődik össze:

F/NS/.DAT

G/NS/.DAT,

ahol /NS/ az NS szám aktuális értékét jelöli: pl.: NS=107 esetén
F107.DAT, G107.DAT.

Az R file esetén egy további betű, A,B,C... szolgál az egy mé-
résből /felvételből/ történő különböző kiértékelések /pl. kü-
lönböző mintavételezési frekvencia, jelpárosítások, stb./ meg-
különböztetésére.

pl.: NS=107 esetén R107A.DAT, R107B.DAT, stb.

3. A FIGURA programrendszer használata

A programrendszer a PDP 11/10 gépen futtatható RT-11 operációs
rendszerben. A szükséges CAMAC konfiguráció 32 csatornás analóg
multiplexert és analóg/digitál convertert tartalmaz. Szükség van
még CAM 3.10 típusu kvázigrafikus display-re és analóg XY rekor-
dert meghajtó modulra.

A KFKI-AEKI Reaktorfizikai Osztályán található PDP 11 rendszer a szükséges berendezéseket sztenderd kiépítésként tartalmazza.

A FIGURA rendszer programjai SAV alakban, az RT-11 MONITOR-ral közös floppy lemezen található, amelyeket a DXO egységen kell elhelyezni.

A programok hívása:

R DIGI

R FF

R GG

R RRR

A kiértékelés minden fázisa interaktív kezelést feltételez. Mindegyik program működése során állandó display kijelzéssel tájékoztatja a kezelőt. Az elvégzett műveletekről a konzolon és/vagy LP-n tömör információ jelenik meg a későbbi azonosítás céljából.

A kiértékelés végeredménye LP-re is kivihető, de a file-okban való tárolás és a plotteren történő kirajzolás tekintendő sztenderd felhasználásnak.

3.1 A DIGI program használata

R DIGI utasítással lehet a programot behívni. Ezt követően saját utasításkészletét a konzolon kiírja (7. ábra). Az utasítások terminálása RETURN billentyűvel történik. Új utasítást csak * kiadása után lehet beírni. Az adatokat kérdés-válasz formában kell megadni. Az egyes adatok a következők:

IST : mintavételezési idő / Δt / millisekundumban.

IST ≥ 1 . /IMX ≥ 4 esetén IST ≥ 2 /.

IMX : jelek száma. $1 \leq \text{IMX} \leq 8$

IPA : blokkok száma. 1 blokk=256 mintavétel.

$\text{IPA} * \text{IMX} \leq 80$

FILE név: F/NS/ File nevet itt az F betűvel és
NS számmal, de .DAT nélkül kell
megadni.

Az adatok megadását követő RETURN indítja a mintavételezést.
Ez előtt kell a jelek rendelkezésre állását /pl. magnó in-
ditása/ biztosítani. A mintavételezés végét CONVERSION
READY üzenet jelzi. A mintavételezett információ az operatív
memóriában marad, diszkre írását a WR utasítással kell kérni.
Ezt megelőzően bármikor lehet diszket cserélni. Az adat-diszket
a DX1 egységen kell elhelyezni.

A mintavételezés eredményét blokkonként megnézhetjük /diszkre
írás előtt vagy után is/, a

D: n_1, n_2, n_3, n_4

utasítással. n_1, n_2, n_3, n_4 a kívánt jelek csatornasorszáma, a
kívánt blokkot pedig a

PAGE:

kérdésre adjuk meg.

A program

RE

utasítással újraindítható, tetszés szerinti számú digitali-
zálás végezhető egymásután.

A DIGI program LP-t nem használ, a szükséges információ a
konzol papíron őrizhető meg.

3.2 A GG program használata

R GG

utasítással hívható be. Az adatok megadása kérdés-válasz formában történik, ez előzőleg kitöltött PDP-FFT SIGNAL ANALYSIS című adatlap alapján /8. ábra/. A GG program futása közben keletkező konzol-információ és LP rekord a 9. ábrán látható.

NEW vagy OLD kérdésre NEW /1/ választ adunk, ha új file-t akarunk létrehozni, OLD /o/ választ, ha valamelyik régi file-t /G és F file-t/ akarjuk megnézni. Ha a válaszuk erre a kérdésre 9, a program STOP-ra fut és kitörlődik.

Adatok megadása NEW /1/ válasz után:

- 1 NS, NUM1, NUM2, NTYP, IMX, IPA, IST /7I4/
 NS: felvétel azonosító 1 NS 999
 NUM1 }
 NUM2 } : szabadon használható azonosító számok
 NTYP=0 stochasztikus jelek esetén
 IMX, IPA, IST: meghatározása a DIGI program leírásában található.
- 2 TITLE /10 A4/
 TITLE: 40 karakter szöveges információ a mérés /felvétel/ megnevezésére. Az első 16 karakter a display-n is megjelenik. LP-n a teljes szöveg nyomtatódik.
- 3 FACTOR, UNIT, SIGNAL /F8.4, A4, 4A4/
 FACTOR: jel-amplitúdó szorzó tényező, amivel a digitalizált jel beszorzódik. Ugy kell megválasztani a láncban szereplő összes erősítés, konverziós tényező figyelembevételével, hogy beszorzás után a jel valamilyen értelmes fizikai

egységben legyen /1. UNIT/.

Ha FACTOR=0.0, akkor olyan tényezőt használ a program, amely az A/D konverter konverziós tényezőjét /5V~4096/ figyelembevételével a multiplexer bemenetén Voltba állítja vissza a jelet, ennek megfelelően UNIT=VOLT is beállítódik.

UNIT: a jel fizikai egysége, /pl. FOK, MPA stb./

SIGNAL: a jel megnevezése /pl. P44-NYOMAS,T-13
TEMPERATURE stb./ Az első 8 karakter a display-n
és a plotter rajzokon is megjelenik, a teljes
szöveg csak LP-n.

/3/ típusu adatokból, egymásutáni sorszámozott kérdésekre annyiszor kell válaszolni, ahány jel van /IMX/.

4 RECSEB, PLYSER /2F8.4/

RECSEB: felvételi szalagsebesség

PLYSEB: lejátszási szalagsebesség

/Tetszőleges egységekben megadhatók, csak a relatív érték játszik szerepet/.

File név megadása G .DAT kérdésre történik. Ezt követően létrejön a megfelelő G file a DX1 diszken. Ha már van F file ugyanazon a diszken /DIGI már futott/, akkor az adatok megtekinthetők a display-n:

IC1, IC2 kérdésre két jel sorszámát kell megadni, amelyeket ellenőrizni akarunk.

F .DAT kérdésre a megfelelő F file nevét kell megadni.

/Elvileg előfordulhat, hogy az F file nem ugyanazon a diszken van mint a G file, ilyenkor a file teljes nevét - kell megadni, pl.: MT1:F107.DAT. Ez azonban lehetőleg kerülendő, mert az adat-file-ok nyilvántartását nagyon komplikálja!/
/

IC2=0-t írunk, ha csak egy jelet akarunk megnézni.
Válaszadás után a display folyamatosan kb 1-1 másodpercig mutatja a digitalizált blokkokat. Megállítása a HALT switch segítségével történhet, enélkül a teljes adatmennyiséget megmutatja, utána újra kérdez. Ha IC1=0 választ adunk, visszatér a NEW vagy OLD kérdésre.

Ha még nincsen F file a diszken, vagy nem akarjuk megnézni, akkor a G file létrehozása után IC1=0-t kell írni.

A GG program futásáról konzol tájékoztatót ad, LP-n pedig megőrzésre szánt rövid rekord készül a bevitt adatokról /9. ábra/.

3.3 Az FF program használata

A program R IF utasítással hívható be. Ha még nem került be az adat diszk a DX1-be, utasításra be kell helyezni.

/Ha a G ill. F file nem a DX1-ben lesz, a megfelelő file név megadásnál a device név is feltüntetendő!/
FF

Az FF program első kérdése az NS azonosításra vonatkozik. Ha a válasz NS=0, a program STOP-ra fut.

G .DAT ill. F .DAT kérdésekre a megfelelő file nevet kell megadni.

Eredmények kiírása LP-n:

a kérdésre Y /yes/ vagy N /no/ választ kell adni.

Eredmények megőrzése R file-ban:

a kérdésre Y /yes/ vagy N /no/ választ kell adni.

Y esetén R .DAT kérdésre a megfelelő R file nevet kell beírni, figyelemmel az R/NS/ után következő megkülönböztető betű használatára /2. fejezet/, ha ez szükséges.

A következő kérdésre a kiértékelendő jel-pár, IC1, IC2 adandó meg. Eddigre a konzolon már kiiródott a G file tartalma, úgyhogy a rögzített jelek sorszámozott felsorolása a szemünk előtt van. IC1, IC2 ezek közül választható /10. ábra/. IC2=0 esetén csak egy jel feldolgozása történik, vagyis kereszt-mennyiségek nem számítódnak.

A következő kérdés az ablakfüggvény választására vonatkozik. Y vagy N válasszal hanning ablak vagy négyszög ablak választható.

A program futása az F file megtalálásakor kezdődik és először a jel/ek/ amplitudó valószínűség eloszlása jelenik meg a display-n. Az egyes részeredmények megjelenésekor a program

PAUSE 1

üzenettel megáll, ahonnan a RETURN gomb megnyomásával lehet továbbküldeni. Ez az opció kikapcsolható, használata akkor indokolt, ha a számított spektrumokat rögtön meg akarjuk nézni. A Fourier transzformáció viszonylag hosszú időt vesz igénybe, az átlagolások kívánt számától függően elég sokszor kerül rá sor. A transzformáció megkezdését a konzolon üzenet jelzi, közben a display-n megjelenik a választott két jel auto-spektrumának legutóbb számított alakja. Ez a kijelzés, amely átlagolásonként javuló statisztikájú görbéket mutat, a futás menetéről ad tájékoztatást. Az utolsó átlagolás után a végleges spektrum normálva, feliratozott ábrán jelenik meg. Ekkor a program futása ismét PAUSE 1 üzenettel felfüggesztődik.

A display ábra a 0 és 3 switchek segítségével vezérelhető:

3:	ON /felfelé/	=	LOG Y tengely
3:	OFF /lefelé/	=	LIN Y tengely
0:	ON /felfelé/	=	PAUSE 1 utáni RETURN-re újra rajzolja az előbbi spektrumot
0:	OFF /lefelé/	=	PAUSE 1 utáni RETURN-re a program a következő mennyiség számítását kezdi el.

A spektrumok számítása után a korrelációs függvények számítása következik, ha a

CORR. FUNCTIONS ?

kérdésre Y/yes/ választ adtunk. Ha a válasz N/no/, korrelációs függvények nem számítódnak. Az FF program futása közben keletkező LP rekord a 11. ábrán látható. A vizsgált jelek átlagértéke, szórása és RMS értéke itt jelenik meg. Ezen kívül felsorolásra kerülnek a kiszámított mennyiségek. Ezek számszerűen csak akkor jelennek meg LP-n, ha az erre vonatkozó kérdésnél így intézkedtünk. Az eddig elmondottakat szemléltetik még a 14,15,16. ábrák.

3.4. Az RRR program használata

A program R RR utasítással hívható be. Segítségével display-n megjeleníthetjük és XY-rekorderen kirajzoltathatjuk az R file-okban már meglévő eredményeket. A kirajzolásra kerülő ábrák először mindig a display-n jelennek meg, ezek ellenőrzése után dönthetünk arról, hogy akarjuk-e az ábrát papíron is megkapni. Valamennyi rajz tengelyekkel, feliratozással, a skála automatikus megválasztásával készül, A4 méretű papírra. Ettől eltérő méretű rajz a plotter megfelelő kezelőszerveinek állításával nyerhető. A program futtatása normális körülmények között az alábbi lépésekből áll:

- 1- A CAMAC keretet ON-LINE állásba kapcsoljuk
- 2- XY-rekordert bekapcsoljuk /LINE: ON/
- 3- Toll emelő kapcsolót LIFT állásba tesszük
- 4- SERVO kapcsolót ON állásba tesszük
- 5- Rajzméret beállítása:

A CAM 3.03 egységen a CALIBRATION kapcsolót TOP állásba helyezzük. Erre a toll X és Y irányban végkitérésbe megy. Ennek kívánt mértékét az X és Y erősítők megfelelő állításával szabályozzuk. A4-es lap esetén X:0.05 V/cm, Y:0.25 V/cm. X és Y alaphelyzetét az X-ZERO, Y-ZERO gombokkal állítjuk, az X /Y/ - check gomb lenyomott állapotában.

- 6- Tiszta papírt helyezünk a rajzfelületre, a papírt a CHART kapcsoló HOLD állásában rögzítjük
- 7- RRR programot indítjuk /tovább indítjuk/ a RETURN gomb lenyomásával.

A file-ban található részeredmények közül bármelyik kirajzolását önállóan végezhetjük, a lehetséges eredmény ábrákat fajták szerint kódszámok jelölik. A kódszámok listáját az RR program indítás után azonnal kiírja /l. 17. ábra/.

Ha a megfelelő R-file-t tartalmazó diszket DX1-be helyeztük,

INPUT: konzol üzenetre adjuk meg a file nevet /ha a file nem DX1-en van, a teljes nevet/. Miután a kívánt file megvan,

KOD: konzol üzenettel jelzi a program, hogy rajzolásra kész. A táblázat szerinti kódszámot válaszolva, a RETURN után a display-n jelenik meg az ábra.

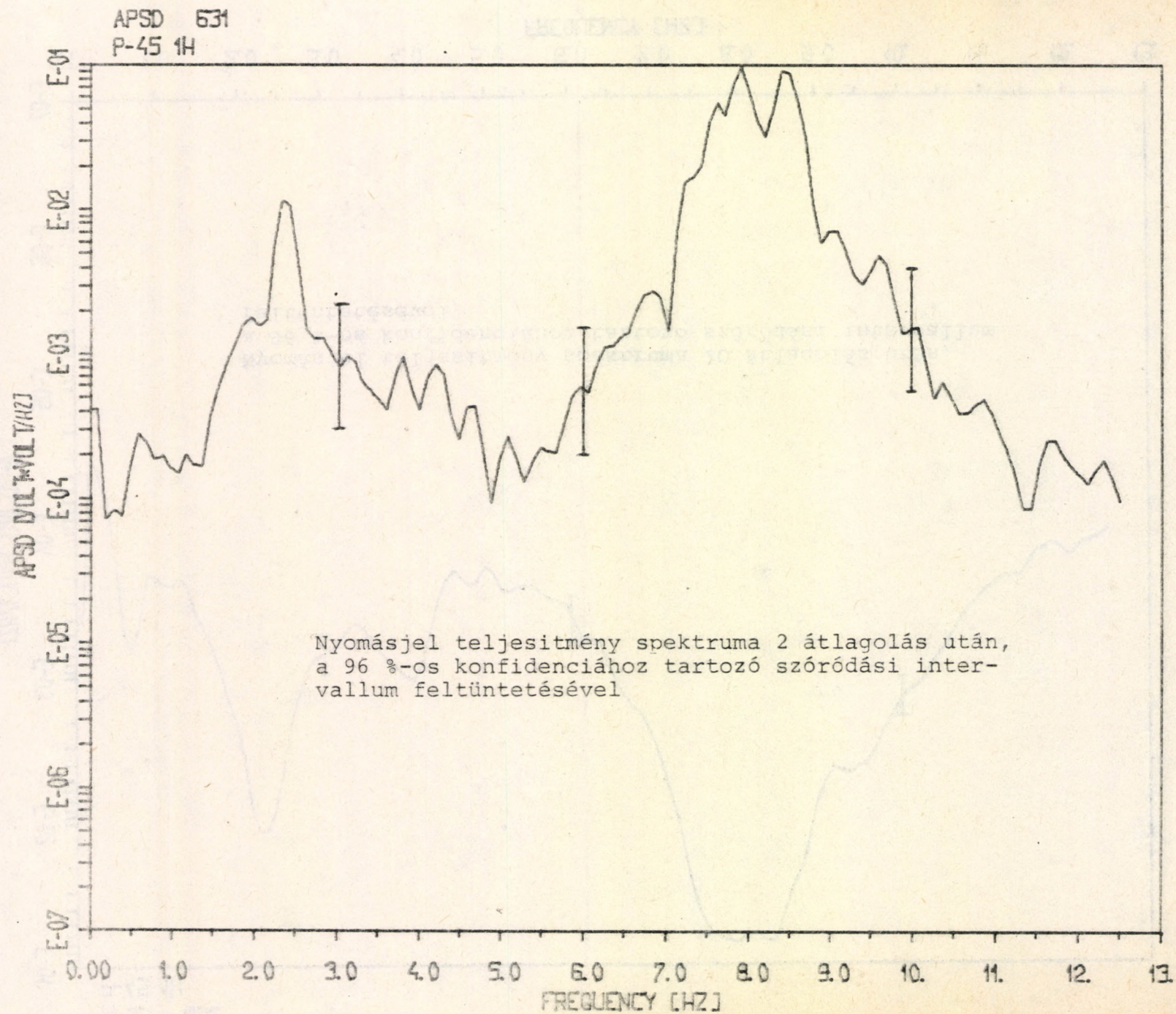
RAJZ YES/1/ OR NO/0/ kérdésre válaszolva történik a tényleges rajzolás.

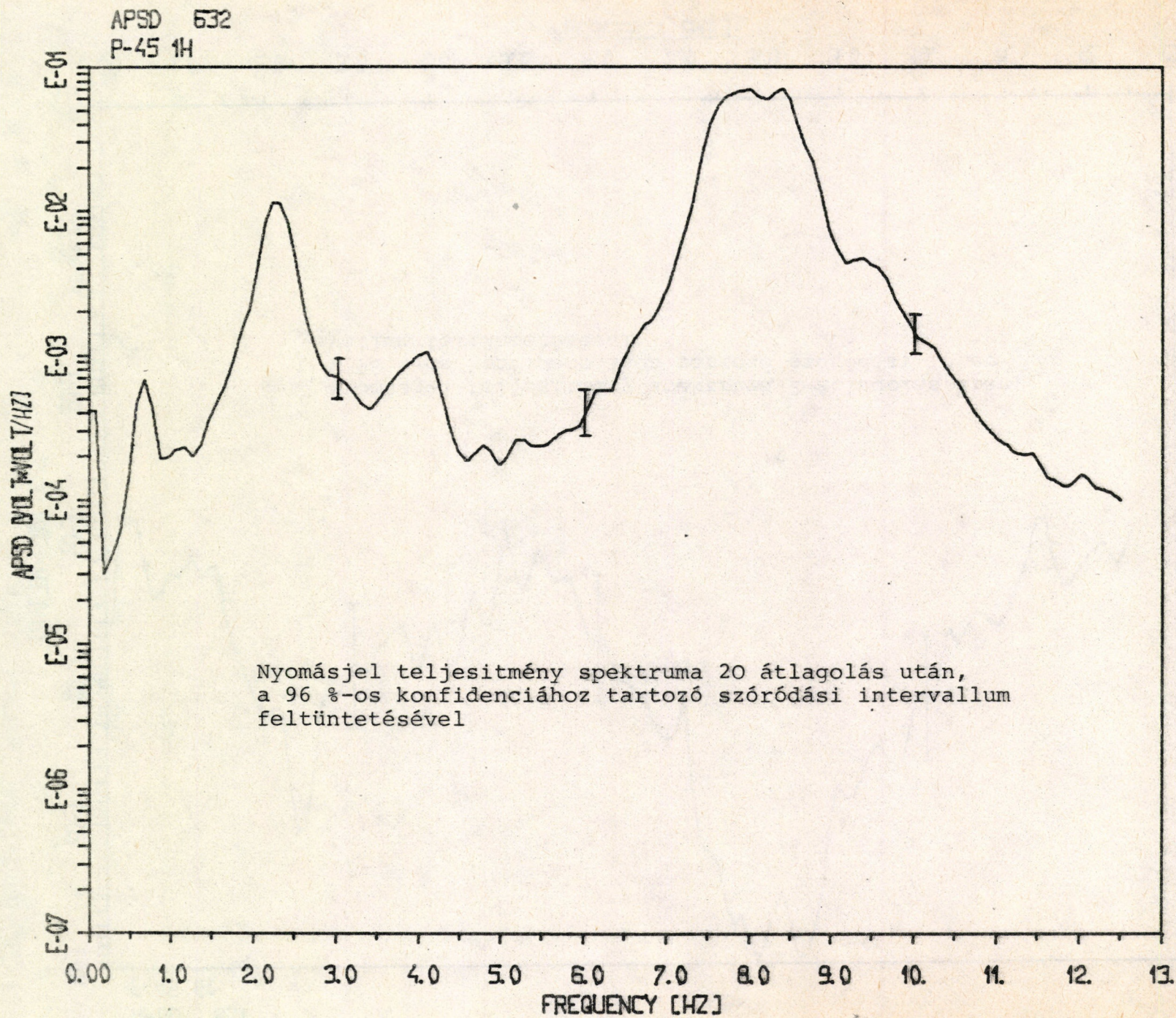
Folyamatos munkánál természetesen csak a 6. és 7. lépéseket kell ismételni.

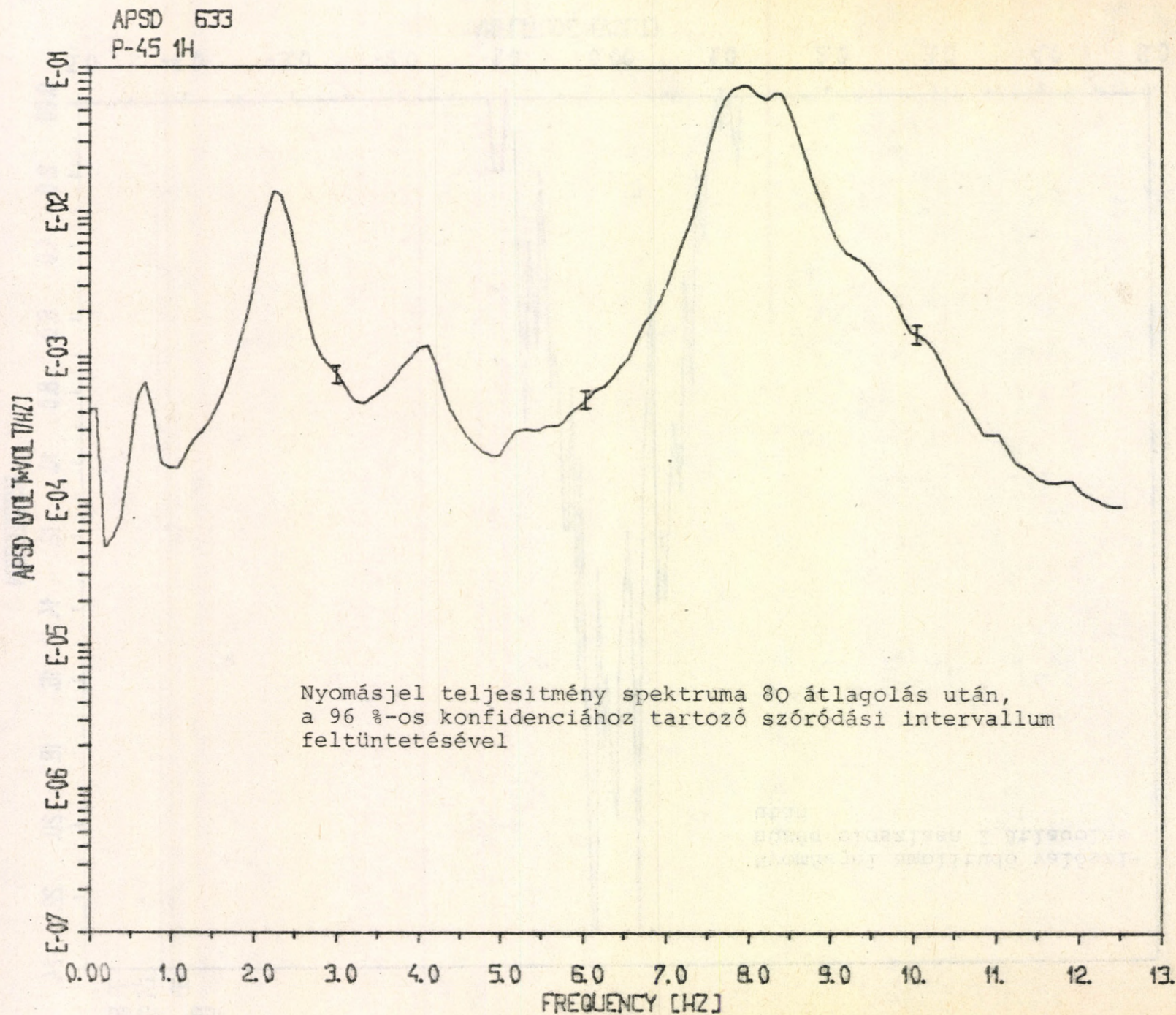
--- x ---

A FIGURA programrendszer használatát néhány további ábra illusztrálja. A 12. ábrán a 8.-11. ábrákon példaként bemutatott pszeudo-véletlen bináris jel jellegzetes teljesítmény spektruma látható. A 13. ábrán zaj-generátorból nyert sávkorlátozott fehérzaj spektrumát mutatjuk be. A 14.-21. ábrákon reaktorban egymás felett elhelyezett termoelemek vizsgálata látható. A 2 és 3 jel auto teljesítmény spektrumán kívül a 20. ábrán a kereszt spektrum amplitudója, a 21. ábrán a fázis és koherencia láthatók. A jellegzetes lineáris fázismenet terjedő perturbációra utal. Ezek az ábrák a bemutatott jelfeldolgozó rendszer reaktordiagnosztikai felhasználását szemléltetik.

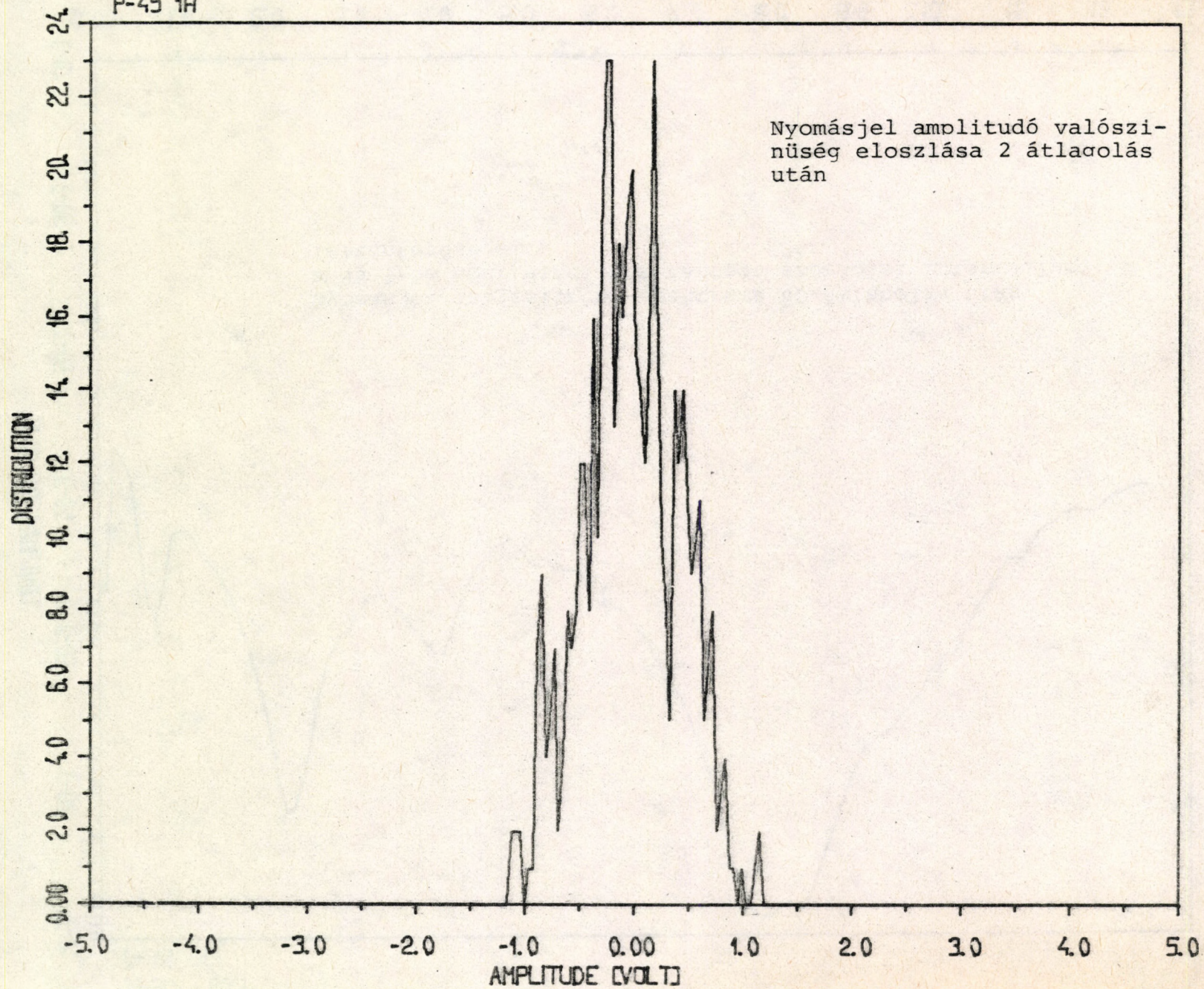
1. ábra.



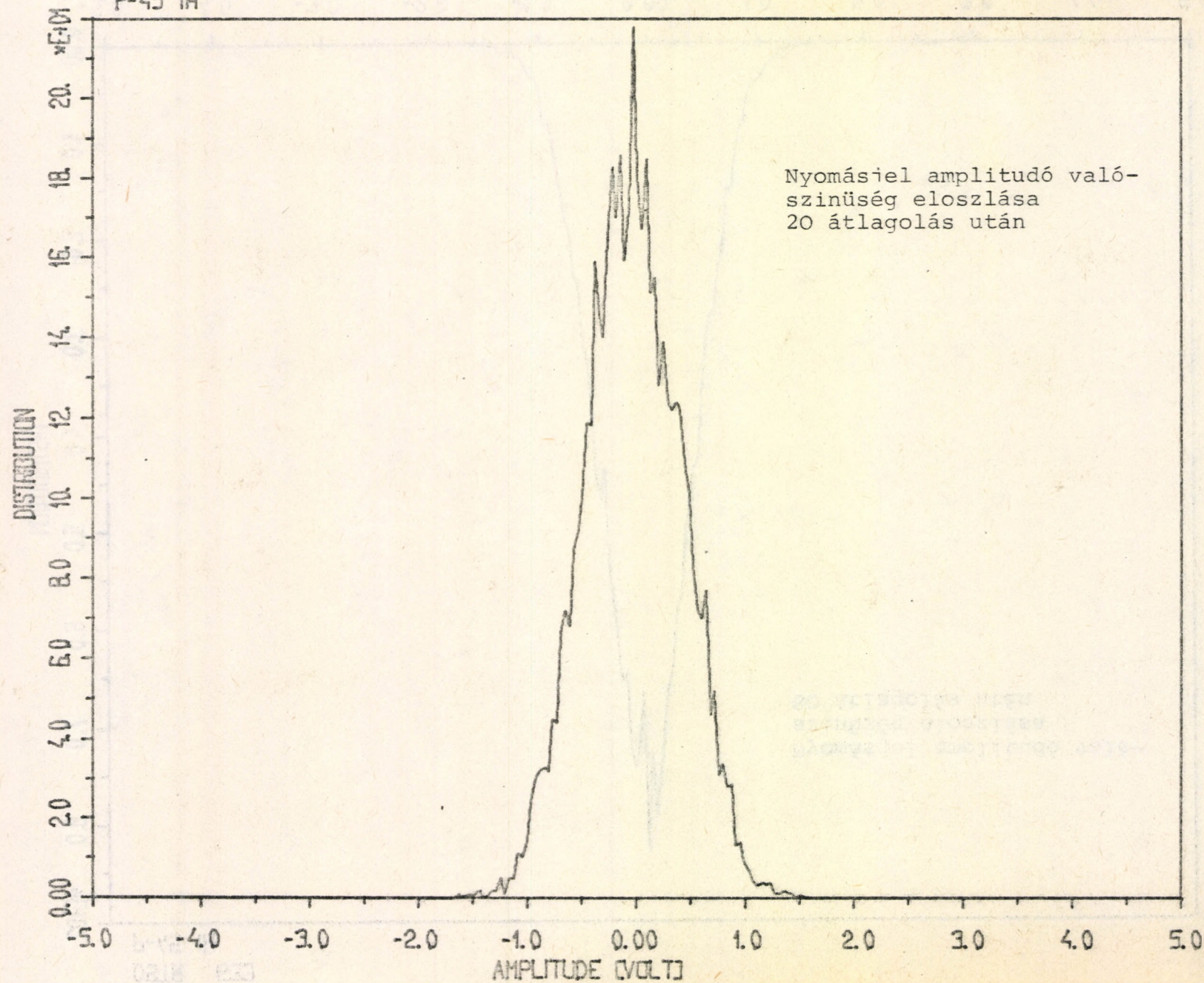


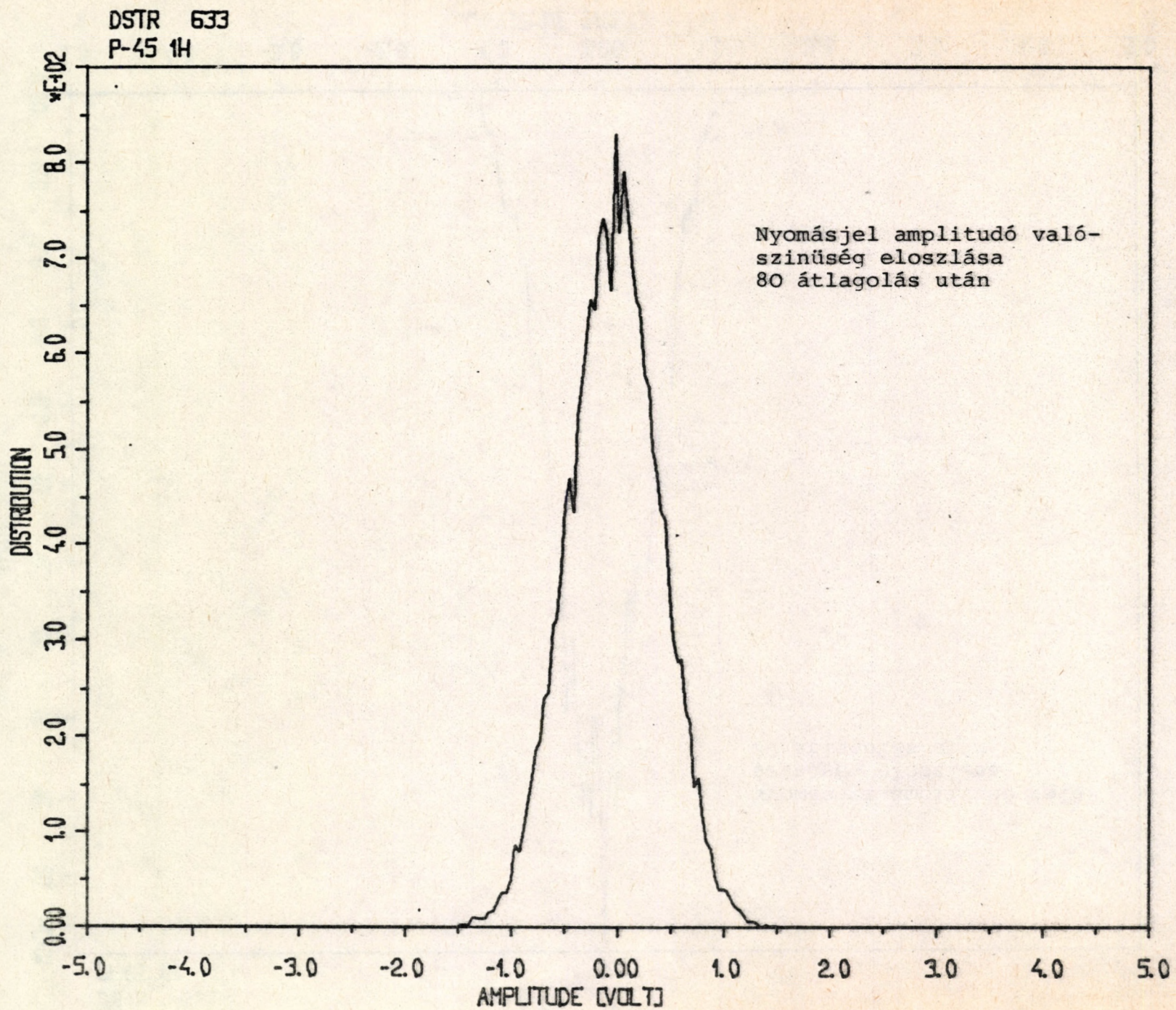


DSTR 631
P-45 1H



DSTR 632
P-45 1H





A DIGI program konzol üzenetei

,R DIGI

STATEMENTS:

ST.....CHANGE SAMPLING TIME
CN.....CHANGE THE NUMBER OF MX CHANNELS
MS.....CHANGE MEMORY SIZE
FN.....GIVE A NEW FILE NAME
DC.....WAIT FOR DISC CHANGE
WR.....WRITE TO DK
RE.....RESTART CONVERSION
EX.....EXIT TO MONITOR
D:*,*,*,*...DISPLAY CHANNELS

NEW STATEMENT CAN BE GIVEN ONLY IF AN ASTERISK "*" APPEARS!!!!

SAMPLING TIME IN MILLISECONDS: 1

NUMBER OF MULTIPLEXER CHANNELS: 2

MEMORY SIZE FOR ONE CHANNEL [*256 WORDS]: 10

FILE NAME: F302

DISCS ARE CHANGABLE, AFTER CHANGE
PRESS THE "RETURN" KEY

CONVERSION IS READY

*D:1,2

PAGE:

PAGE: 1

7. ábra.

PDP-FFT SIGNAL ANALYSIS

TAPE NO. 0

NAME XY

DATE 16 MAR 83

NS NUM1 NUM2 NTYP IMX IPA IST
302 , 5 , 10 , 0 , 2 , 10 , 1

TITLE

P.R.B. 10 MS 1V RMS

SIGNALS

	FACTOR	UNIT	SIGNAL
1	<u>0.0</u>	<u>V.O.L.T</u>	<u>B-50.00</u>
2	<u>0.0</u>	<u>V.O.L.T</u>	<u>B-50.01</u>
3			
4			
5			
6			
7			
8			

REC-SEB

PLAY-SEB

10 , 10

ON FILE F.G.R

A GG program konzol üzenetei

.R GG

NEW:1, OLD:0 ,STOP:9

1

NO,NUM1,NUM2,NTYP,IMX,IPA,IST
302,5,10,0,2,10,1

TEXT

PRB 10 MS 1V RMS

1 FACTOR, UNIT, SIGNAL
0,VOLTB 5000

2 FACTOR, UNIT, SIGNAL
0,VOLTB 5001

REC-SEB PLY SEB
1.,1.

G .DAT
*G302.DAT

G .DAT
*G302.DAT

NO. OF SIGNALS: 2 NO. OF BLOCKS: 10
PRB 10 MS 1V RMS

1 B 5000
2 B 5001

C1,IC2= (NEXT CASE:IC1=0)

0

NEW:1, OLD:0 ,STOP:9
0

A GG program LP rekordja

16-MAR-83

302 5 10 0 2 10 1

PRB 10 MS 1V RMS

1B-5000

0.0012

VOLT

2B-5001

0.0012

VOLT

1.0000 1.0000

Az FF program konzol üzenetei

.R FF

***** PROGRAM FFT01 ***** DATE OF RUN: 16 MAR 83 *****
LOAD DATA DISK, GIVE FILE NUMBER: NS
302

G .DAT
*G302.DAT

NO. OF SIGNALS: 2 NO. OF BLOCKS: 10

PRB 10 MS 1V RMS

1 D 5000

2 D 5001

PRINT RESULTS ? (YES/NO)

N

FILE RESULTS ? (YES/NO)

Y

R .DAT
*R302.DAT

SIGNALS TO BE PROCESSED: IC1, IC2

1,2

HANNING ? (YES/NO)

N

F .DAT
*F302.DAT

PAUSE 1

PAUSE 1

F .DAT
*F302.DAT

ROUTINE FFT

PAUSE 1

PAUSE 1

PAUSE 1

PAUSE 1

PAUSE 1

CORR.FUNCTIONS? YES/NO
N

LOAD DATA DISK, GIVE FILE NUMBER: NS
0

STOP

Az FF program LP rekordja

***** PROGRAM FFT01 ***** DATE OF RUN: 16-MAR-83 *****

DATE OF DIGITIZATION: 16-MAR-83

NS=302 NUM1= 5 NUM2= 10 NTF=0

NO. OF SIGNALS= 2 NO. OF BLOCKS= 10 SAMPLING TIME= 1 MILLISEC

PRB 10 MS 1V RMS

1	B-5000	0.0012	VOLT
2	B-5001	0.0012	VOLT

RECORDING SPEED= 1.0000, PLAYING SPEED= 1.0000

*** ** RESULTS ON R-FILE *** **

SIGNALS PROCESSED= 1 2

SIGNAL 1 B-5000

MEAN= 6.7090E-02 ST.DEV.= 9.7424E-01 RMS= 9.7655E-01 UNIT=VOLT

SIGNAL 2 B-5001

MEAN= 6.3558E-02 ST.DEV.= 9.9040E-01 RMS= 9.9244E-01 UNIT=VOLT

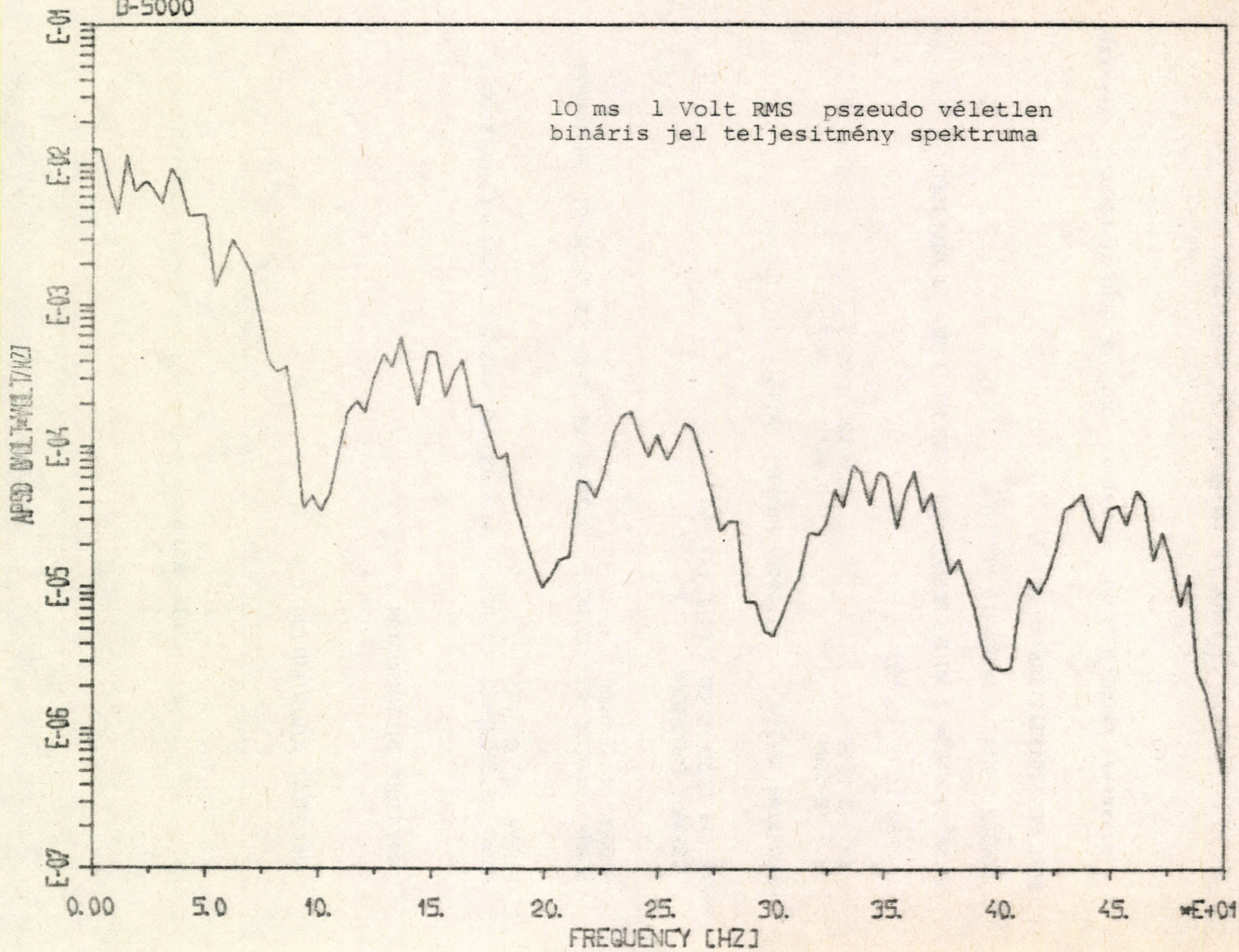
AMPLITUDE DISTRIBUTION X

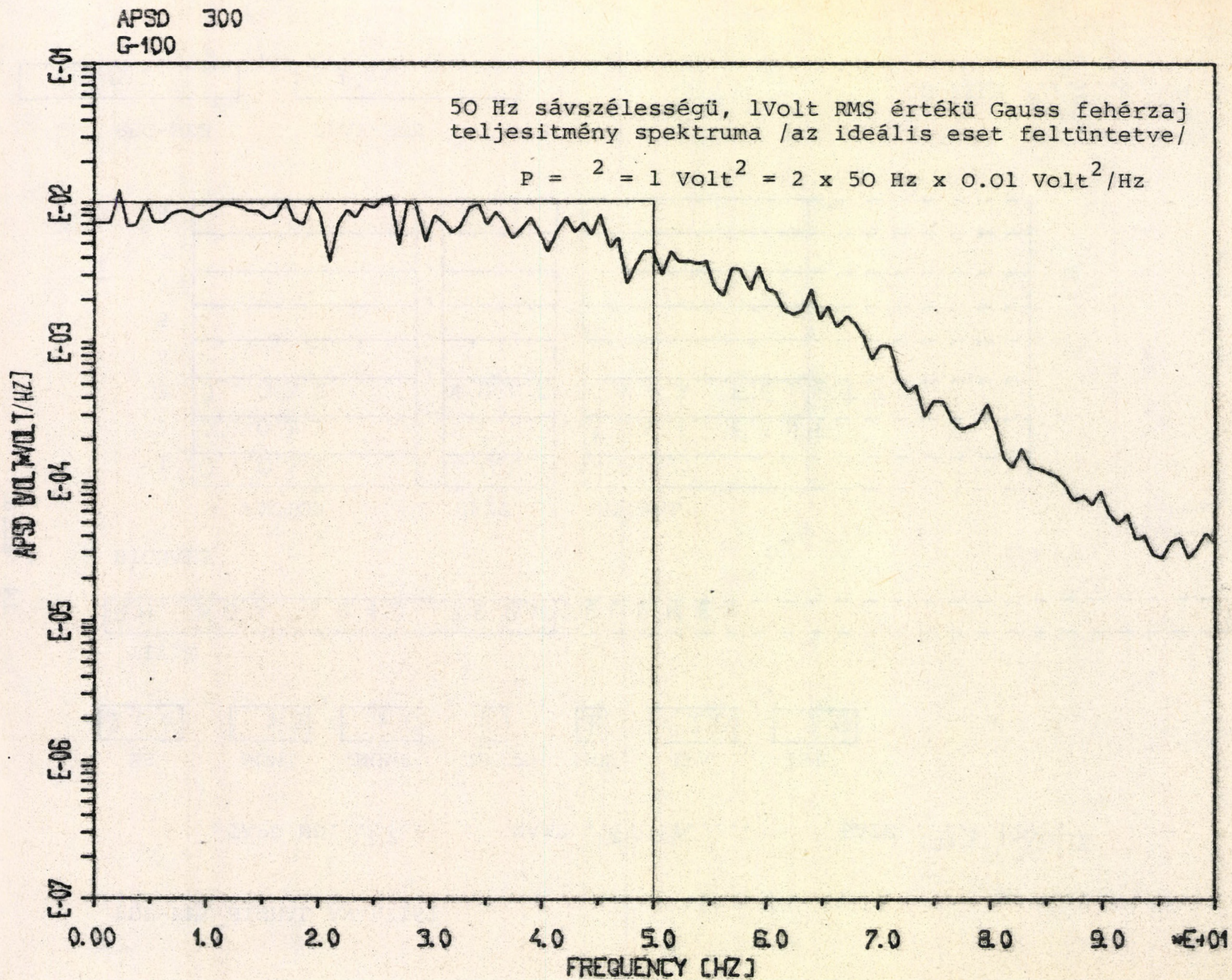
AMPLITUDE DISTRIBUTION Y

11. ábra.

APSD 302
B-5000

10 ms 1 Volt RMS pszeudo véletlen
bináris jel teljesítmény spektruma





13. ábra.

PDP-FFT SIGNAL ANALYISI

TAPE NO. 7B..

NAME Izsa'k.....

DATE 1983. marc. 3.

NS NUM1 NUM2 NTYP IMX IPA IST
 204 , 43 , 10 , 0 , 3 , 20 , 20

TITLE

RH BO1 1982. TERM O E L E M E K

SIGNALS

	FACTOR	UNIT	SIGNAL
1	0.032	VOLT	T-73
2	0.032	VOLT	T-61 FENT
3	0.032	VOLT	T-62 FELETT
4			
5			
6			
7			
8			

REC-SEB

PLAY-SEB

1.0

1.0

ON FILE F.G.R.204

.R FF

***** PROGRAM FFT01 ***** DATE OF RUN: 26-OCT-83 *****
LOAD DATA DISK, GIVE FILE NUMBER: NS
204

G .DAT
*G204.DAT

NO. OF SIGNALS: 3 NO. OF BLOCKS: 20
RH B01 1982, TERMOELEMEX
1 T-73
2 T-61 FENT
3 T-62 FELETTE
PRINT RESULTS ? (YES/NO)
N

FILE RESULTS ? (YES/NO)
Y

R .DAT
*R204.DAT

SIGNALS TO BE PROCESSED: IC1, IC2

2,3

HANNING ? (YES/NO)
Y

F .DAT
*F204.DAT

PAUSE 1

PAUSE 1

F .DAT
*F204.DAT

ROUTINE FFT

PAUSE 1

PAUSE 1

PAUSE 1

PAUSE 1

PAUSE 1

PAUSE 1

CORR.FUNCTION? YES/NO
N

LOAD DATA DISK, GIVE FILE NUMBER: NS
0

STOP ---

***** PROGRAM FFT01 ***** DATE OF RUN: 26-OCT-83 *****

DATE OF DIGITIZATION:11-MAR-83

NS=204 NUM1= 73 NUM2= 10 NTYP=0

NO.OF SIGNALS= 3 NO.OF BLOCKS= 20 SAMPLING TIME= 20 MILLISEC

RH B01 1982, TERMOELEMEX

1	T-73	0.0320	VOLT
2	T-61 FENT	0.0320	VOLT
3	T-62 FELETTE	0.0320	VOLT

RECORDING SPEED= 1.0000, PLAYING SPEED= 1.0000

*** ** RESULTS ON R-FILE *** **

SIGNALS PROCESSED= 2 3

SIGNAL 2 T-61 FENT

MEAN= 1.8293E+00 ST.DEV.= 5.4590E+00 RMS= 5.7574E+00 UNIT=VOLT

SIGNAL 3 T-62 FELETTE

MEAN= 9.7466E-01 ST.DEV.= 5.3233E+00 RMS= 5.4117E+00 UNIT=VOLT

AMPLITUDE DISTRIBUTION X

AMPLITUDE DISTRIBUTION Y

SPEED FACTOR 1.00000 USED

APSD XX

APSD YY

CPSD MAGNITUDE

CPSD PHASE

COHERENCE

Az RRR program konzol üzenetei

.R RRR

PROGRAM R .DAT FILE-OK RAJZOLASAIHOZ

DSC1.....KOD=1
DSC2.....KOD=2
APSD1.....KOD=3
APSD2.....KOD=4
CPSD.....KOD=5
PHSE,CDH...KOD=6
CORR.....KOD=7
NEW FILE...KOD=8
STOP.....KOD=9

INPUT: R204.DAT

KOD= 3

RAJZ? YES(1) OR NO (0)
1

Y(0)= 2.13214E+01

KOD= 4

RAJZ? YES(1) OR NO (0)
1

Y(0)= 1.56005E+01

KOD= 5

RAJZ? YES(1) OR NO (0)
1

Y(0)= 1.69970E+01

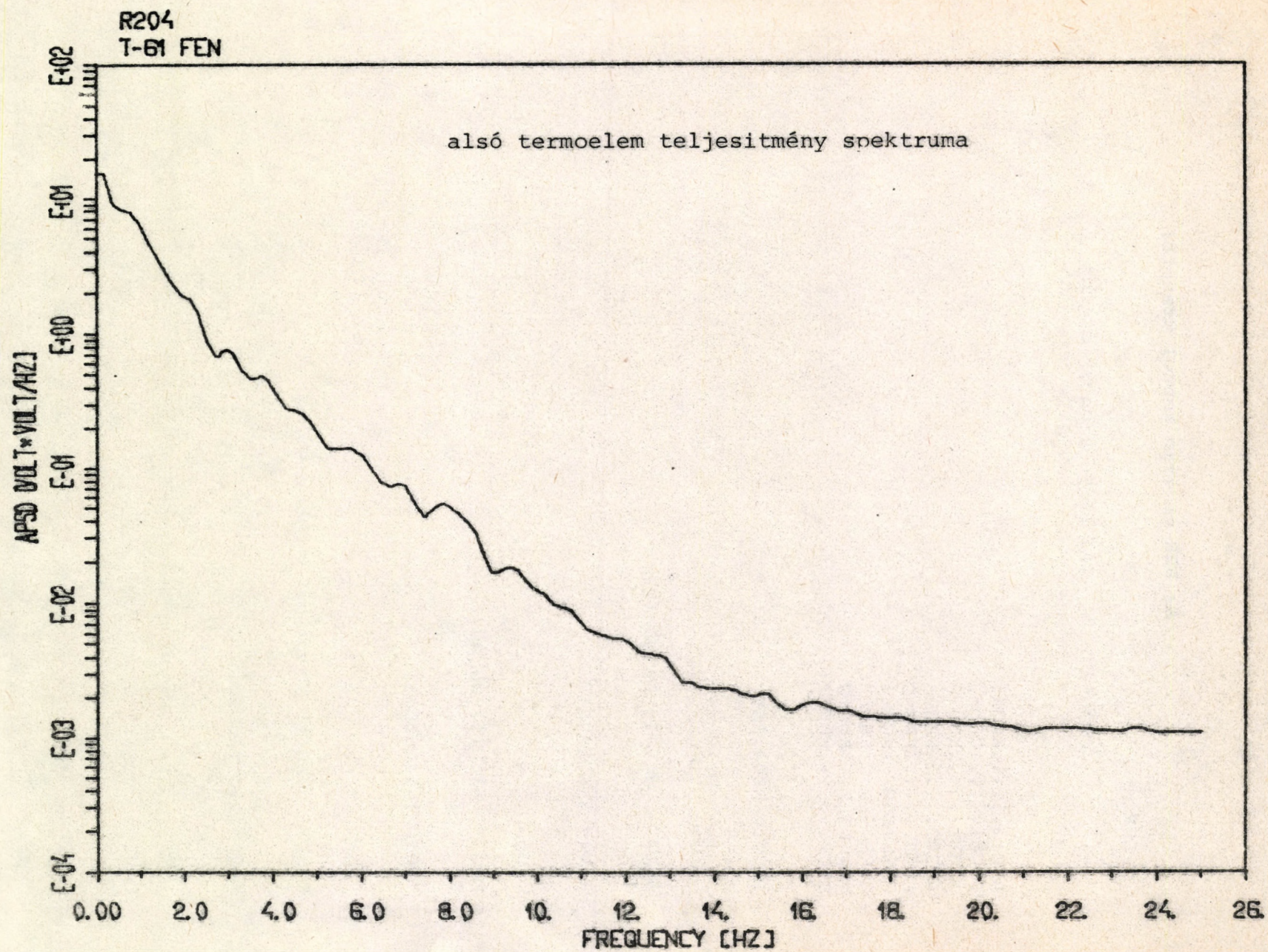
KOD= 6

RAJZ? YES(1) OR NO (0)
1

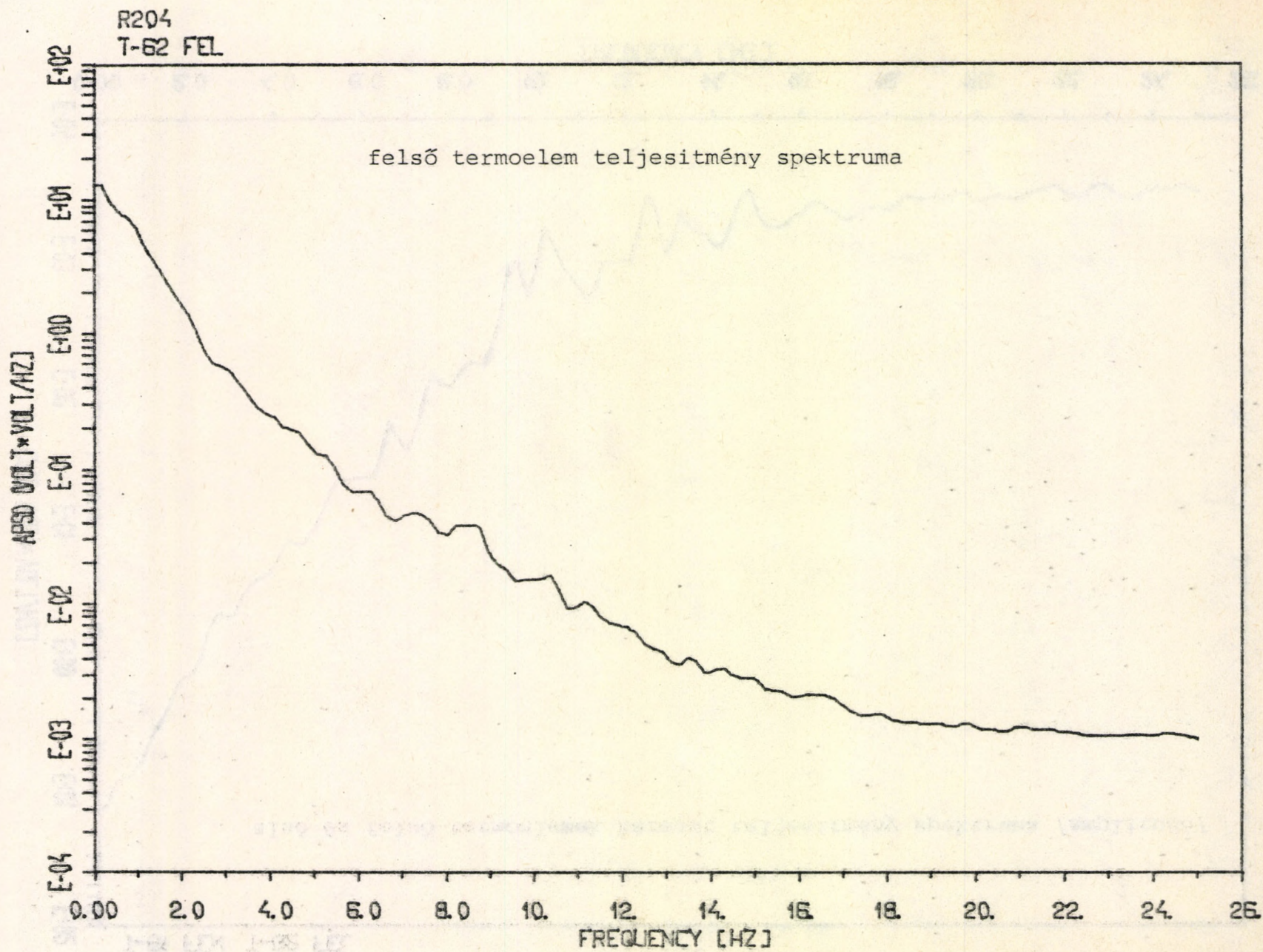
KOD= 7

STOP

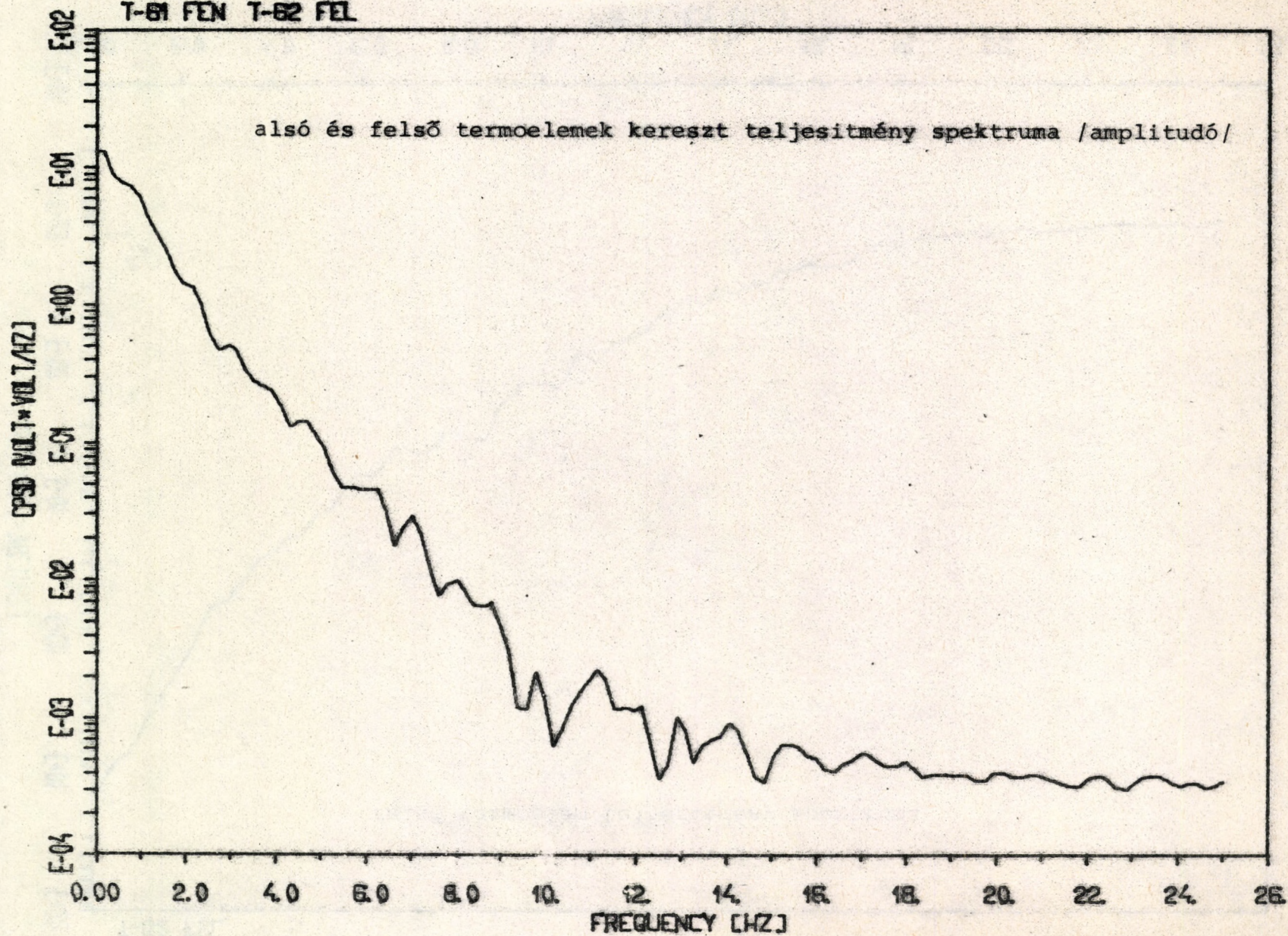
18. ábra.

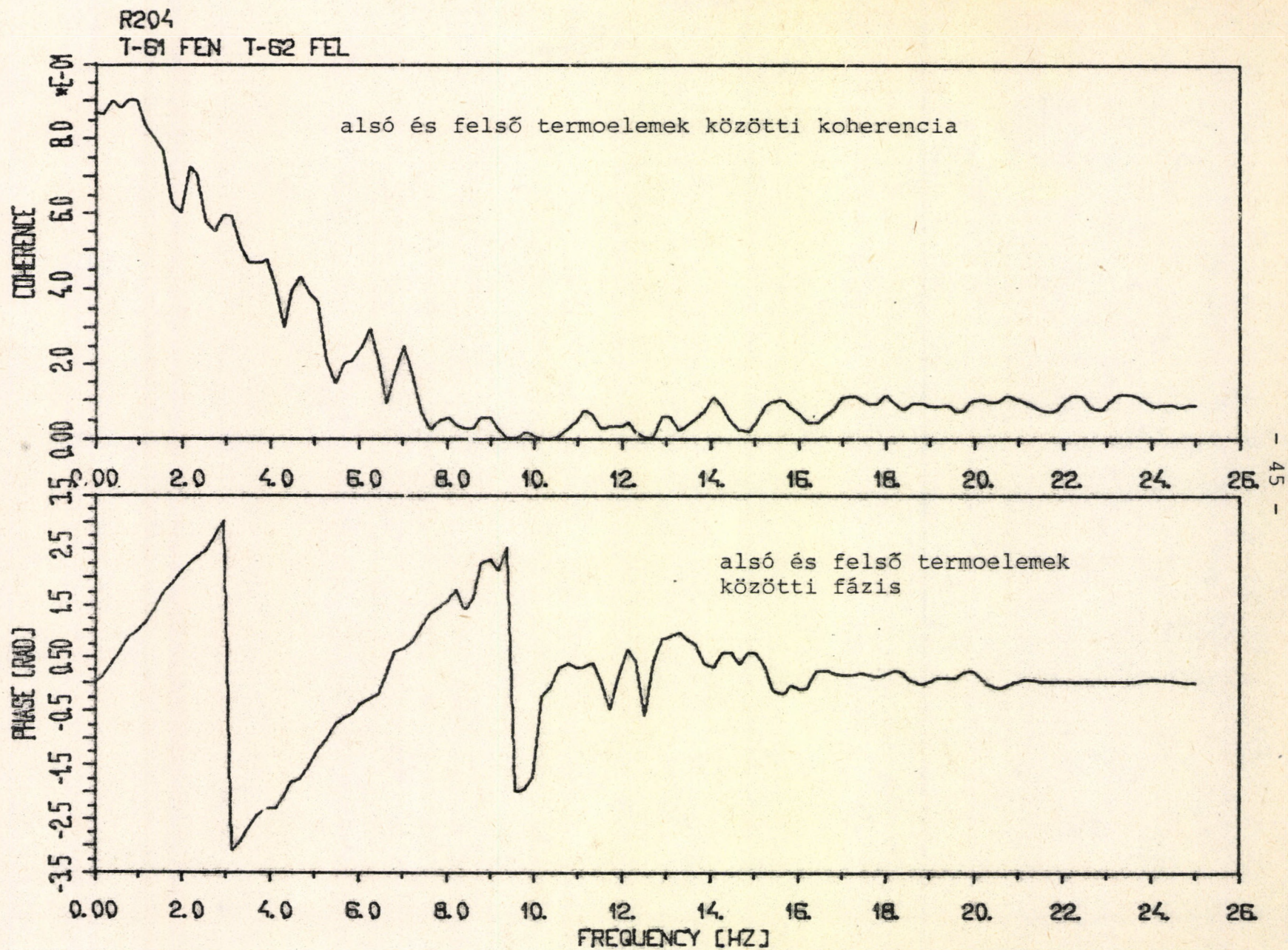


19. ábra.



R204
T-61 FEN T-62 FEL







Kiadja a Központi Fizikai Kutató Intézet
Felelős kiadó: Gyimesi Zoltán
Szakmai lektor: Lux Iván
Példányszám: 54 Törzsszám: 83-704
Készült a KFKI sokszorosító üzemében
Felelős vezető: Nagy Károly
Budapest, 1983. december hó